

我国低空急流的时空分布与稻飞虱北迁

封传红¹, 翟保平^{1*}, 张孝羲¹, 汤金仪²

(1. 南京农业大学昆虫学系, 农业部病虫监测与治理重点实验室, 南京 210095; 2. 农业部农业技术推广服务中心测报处, 北京 100026)

摘要:利用国家气象局高空气象资料(CD 版)统计了 1986~1995 年间昆虫迁飞季节内(3~9 月份)低空急流发生的时空变化和气候学, 并与稻飞虱的北迁作了相关分析。结果表明, 低空急流的发生区域分布于百色、锦州、嫩江一线的东侧, 长时间、大尺度的低空急流有利于稻飞虱的远距离北迁和大范围降落, 3 月下旬至 5 月下旬稻飞虱始见期的北界与低空急流的 16.5℃等温线相吻合, 而后其始见期北界与低空急流前缘所至基本吻合。据此提出可以低空急流作为监测稻飞虱迁飞的预警参数, 再结合虫情资料预测稻飞虱迁入区的分布。

关键词:低空急流; 稻飞虱; 北迁

Climatology of Low-level Jet and Northward Migration of Rice Planthoppers

FENG Chuan-Hong¹, ZHAI Bao-Ping¹, ZHANG Xiao-Xi¹, TANG Jin-Yi² (1. Key Lab. of Pest Monitoring and Management of Agricultural Ministry of China, Department of Entomology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 21095, China; 2. Pest Forecasting Division, National Agro-Technique Extension and Service Center, Beijing 100026, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(4): 559~565.

Abstract: The climatology of the low-level jet (LLJ) with different spatio-temporal scales in China were analyzed by the standard wind and temperature data (850hP) from Chinese Meteorological Bureau between 1986 and 1995, and the correlation of LLJ with the northward migration of rice planthoppers (*Nilaparvata lugens* and *Sogatella furcifera*) was found. The analysis indicated that the immigration populations' northern boundary during March to May exactly coincided to 16.5℃ isotherm of LLJ, and from then on, to the northern boundary of LLJ. The larger the spatio-temporal scales the LLJ had, the vaster the damaged crop areas would be. So, the LLJ can be used as a parameter to monitor and forecast the outbreak of rice planthoppers.

Key words: low-level jet; rice planthoppers; northward migration

文章编号: 1000-0933(2002)04-0559-07 中图分类号: Q968 文献标识码: A

稻飞虱, 包括褐飞虱 *Nilaparvata lugens* Stal 和白背飞虱 *Sogatella furcifera* (Horvath), 是我国水稻上发生面积最广、危害最重的害虫。近 20a 来, 其发生面积不断扩大、暴发频率逐渐增加、致害程度日益加重。尤其是 1991 年稻飞虱特大暴发, 过去很少发生的北方稻区也受害惨重, 仅冀东沿渤海湾周围地区就有 $1.67 \times 10^5 \text{ hm}^2$ 稻田绝收^[1]。国内稻飞虱的研究主要着重于南方稻区, 对北迁波及区和边缘区的北方稻虱问题一直未予重视, 这也正是 1991 年冀东稻区损失惨重的根本原因。北方稻区(华北单季稻作带和东北早熟稻作带)处于冬夏季风转换区, 又是水稻迁飞性害虫主降种群的北回归区(北迁终点和南迁始点), 因而使该过渡带构成了特征突出的生态界面(ecological boundary), 表现为非线性的集中表达区、非连续性的集

基金项目: 国家 973 资助项目(G20000016210); 国家“九五”攻关资助项目(96-005-01-01-06)

* 通讯联系人 Author for correspondence

收稿日期: 2000-06-08, 修订日期: 2001-01-24

作者简介: 封传红(1973~), 男, 湖南衡阳人, 硕士。主要从事植保及病虫测报的研究。现在四川省植保站工作。

中显示区和突变的产生区。北方稻区飞虱的迁入高峰期一般出现在 7 月下旬到 8 月上旬^[2],而此期正值稻飞虱北迁盛期的江岭稻区与迁入区相隔 10~15 个纬距 (1000~1600 km) 以上^[3]。在一般年份,这里总有少量的飞虱迁入,而在大发生年,是什么因素使得如此大量的飞虱迁入了北方稻区呢? 而且,其迁入分布在年度之间也极不相同,往往与南方稻区的发生程度并无直接的因果关系 (表 1)。

表 1 我国南北稻区稻飞虱发生情况对比

北方稻区稻飞虱发生程度及受害区分布 Occurrence extent and damage areas in Northern China		南方稻区稻飞虱发生程度 Damage extent in Southern China
1966	辽宁全省大发生 O, Liaoning	1966 大发生 O
1969	辽、吉两省大发生 O, Liaoning and Jilin	1969 大发生 O
1972	吉林通化地区大发生 O, Tonghua	1972 轻发生 L
1973	辽宁渤海湾沿岸、吉林南部特大发生 SO, Coast of Bohai Sea in Liaoning, Southern Jilin	1973 中等发生 M
70 年代中期	北方稻区发生轻微 L, Northern China	1974, 1975, 1977 大发生 O
1979	吉林通化地区大发生 O, Tonghua	1979 轻发生 L
80 年代	东北稻区发生轻微 L, Northeastern China	1980, 1983, 1985, 1989 大发生 O
1987	北至山东临沂、陕西汉中、安康一线大发生 O, Northern China	1987 特大发生 SO
1990	吉林全省,80%的稻区损失严重 O, Jilin	1990 中等发生 M
1991	北达渤海湾一带 (冀东、锦西) 损失巨大 SO, Coast of Bohai Sea	1991 特大发生 SO

L: Light, M: Moderate, O: Outbreak, SO: Seriously outbreak

国内外的研究都表明,稻飞虱基本上不存在再迁飞^[4,5],而其飞行能力又不可能超过 30h^[6~11]。显然,南方大发生虫源要在不超过 30h 的一次连续飞行中到达千余公里之外的北方稻区,其运行高度上必须持续存在 12m/s 以上的高速气流,即低空急流(low level jet,LLJ)。国内外的雷达昆虫学研究已经证实,迁飞种群的大多数个体集聚在边界层顶附近的最大风速带或不同尺度的低空急流中层运行^[12]。最著名的如北美落基山东侧的大平原低空急流,被称之为北迁种群的“传送带”^[13]。我国夏季在青藏高原东侧、副高的西侧或北侧常有西南低空急流形成并随副高的进退而移动,大多数情况下,在其左前方都伴有暴雨发生。其强风轴平均风速 12m/s 以上,南起南海,经湖广,6 月份北移到 30N 以南,从长江中下游直达日本列岛^[14]。Seino 等、Watanabe 等即以这支低空急流的出现与否预测飞虱从我国江南稻区藉此越洋迁入日本的发生期^[15,16]。到 7 月份,这支低空急流可达黄河以北直至辽东半岛。冀东和东北稻区飞虱的暴发很有可能与这支急流有关。此外,台风登陆我国后远距离北上^[17]或其它天气系统过境时^[18,19]所形成的强风或低空急流以及边界层低空急流也有可能使飞虱远迁华北区或东北区。而且,台风经陆上北上时暴雨的主降区在冀东,经海上北上时暴雨的主降区在辽宁和吉林^[20],这就为远距离北迁的飞虱种群提供了集中降落的有利条件。据此,翟保平提出以北上低空急流的时空变化与南方大发生虫源迁出期(区)相吻合,其前缘所至与北方迁入区相一致作为北方稻虱暴发的启动因子^[21]。本文通过对我国低空急流的气候学分析,旨在探讨低空急流发生与稻飞虱在我国东半部春夏季北迁的关系,为稻飞虱的灾变预测提供可操作的早期预警指标。

1 材料与方法

1.1 资料来源

风温资料取自国家气象局《中国高空气象记录月报》(1986~1995 CD 版)的 850hP 等压面 0 时和 12 时 (GMT)全国 130 个站点的记录。

1.2 低空急流的划分标准

对低空急流的描述随研究目的不同而异,习惯把大气边界层顶附近存在的强风带作为低空急流,一般以风速达到 12m/s 以上作为低空急流发生的标准。考虑稻飞虱的迁飞行为和资料的可得性,规定(1)850hP 等压面(相当于 1500m 高度)上的风速达 12m/s 以上的偏南风;(2)范围至少应连续两站(3 纬度以内)以上;

旬,沿百色、锦州、嫩江连线以东地区平均每站点 LLJ 累计发生频次为 67.5 次(图 1c)。到 7 月下旬达 79.1 次(图 1d)。8 月上旬至 9 月下旬为急流衰退期,发生区域缩小(图 1e)。9 月中旬,华北、华中偏北风增加,急流只在 23°N 以南出现,到 9 月下旬只零星地出现在黔中、湘南及广东中部(图 1f)。我国东部急流发生频次 8 月份平均每站点累计为 34.3 次,9 月份为 26.2 次。

表 3 1986~1995 年迁飞季节(3~9 月份)内不同空间尺度 LLJ 发生的年均次数及其与稻飞虱为害面积的相关性分析
Table 3 Correlativity of annual mean times of LLJ with different spatial scales and the damaged areas of rice planthoppers in migration seasons (March to September) of 1986~1995

伸展方向 Direction of LLJ axis	不同空间尺度的 LLJ 年均次数 Annual mean times of LLJ with different spatial scales								
	$D\leq 2$	$2<D\leq 3$	$3<D\leq 4$	$4<D\leq 5$	$5<D\leq 6$	$6<D\leq 7$	$7<D\leq 8$	$8<D\leq 9$	$D>9$
纬向 Zonal	117.8	99.2	33.5	30.8	23.3	18.6	19.3	9.7	28.5
相关系数 r	0.1236	-0.1847	0.2986	-0.1086	-0.1994	-0.3524	0.0984	0.3209	0.7350
不相关概率 $\text{Prob}> R $	0.7513	0.6342	0.4351	0.7809	0.6071	0.3523	0.8012	0.3998	0.0241
经向 Meridional	117.0	78.9	32.1	34.3	17.4	22.2	14.9	12.7	51.1
相关系数 r	-0.1216	0.0944	-0.1249	0.0308	-0.3522	0.0923	0.5522	0.2330	0.4798
不相关概率 $\text{Prob}> R $	0.7553	0.8091	0.7489	0.9373	0.3526	0.8132	0.1232	0.5464	0.1912

纬向指南北方向,经向为东西方向。D 为 LLJ 的跨度(纬距或经距的个数)。Zonal is longitudinal, S-N. Meridional is latitudinal, W-E. D is the spatial scale of LLJ, i.e. numbers of latitude or longitude it extended

表 4 1986~1995 年迁飞季节(3~9 月份)内不同时间尺度 LLJ 发生的频次分布
Table 4 Duration (d) of LLJ with different temporal scales in migration seasons(March to September) of 1986~1995

月份 Month	华南沿海 (<25°N) Southern China			江南江淮 (25~34°N) Central China			华北东北 (>34°N) Northern China		
	1~2d	3~4d	≥5d	1~2d	3~4d	≥5d	1~2d	3~4d	≥5d
3	59.5	55.5	43.5	48.0	40.5	26.0	36.0	2.5	0.0
4	49.0	47.0	9.0	58.0	44.5	9.0	67.5	19.0	0.0
5	42.5	36.5	10.5	49.5	37.5	10.5	85.5	9.0	4.5
6	40.5	30.5	65.0	46.0	30.5	49.0	53.5	6.5	5.0
7	43.5	34.0	52.5	54.0	51.5	68.0	37.5	26.5	16.5
8	21.0	30.5	4.5	29.0	26.0	14.0	20.0	2.5	9.5
9	19.5	3.0	0.0	16.0	2.5	0.0	39.5	2.5	0.0

表中的 d 指 LLJ 的持续天数。The ‘d’ means days the LLJ sustained

与其季节性区域变化相一致,LLJ 内外的温差也呈现规律性的涨落。从 3 月份到 7 月份温差逐步减小。LLJ 温度的分布南北差异 3 月份最大,7 月份较均匀(表 5)。

表 5 3~9 月份不同纬度间 LLJ 内外平均气温(°C)的比较 (1986~1995)
Table 5 Spatial distribution of the mean temperature both inside and outside the LLJ from March to September of 1986~1995

月份 Month	纬度 Latitude (°N)													
	平均 Mean		<22		22~26		26~30		30~34		34~38		>38	
	内 I	外 O	内 I	外 O	内 I	外 O	内 I	外 O	内 I	外 O	内 I	外 O	内 I	外 O
3	6.2	3.3	17.3	15.0	14.0	11.2	11.6	5.3	6.6	3.2	3.3	0.6	-1.4	-2.8
4	12.1	10.0	19.5	18.0	16.9	15.2	15.2	11.3	10.6	9.7	10.4	8.4	8.4	5.9
5	16.1	14.5	20.1	19.1	18.8	17.4	18.1	15.1	15.8	14.2	15.8	13.7	13.5	12.4
6	18.3	18.2	19.9	20.0	19.0	19.6	18.8	18.4	18.8	17.7	18.6	17.6	16.9	17.5
7	19.9	20.2	19.5	20.0	19.5	20.3	20.4	20.9	20.3	19.9	20.4	19.7	19.7	20.6
8	19.1	19.4	19.5	19.9	19.1	20.1	20.0	20.3	18.9	19.6	19.2	18.6	18.4	19.0
9	19.6	19.6	16.6	18.8	17.6	18.1	18.0	16.5	16.2	15.3	15.2	14.4	13.4	13.2

I, inside. O, outside

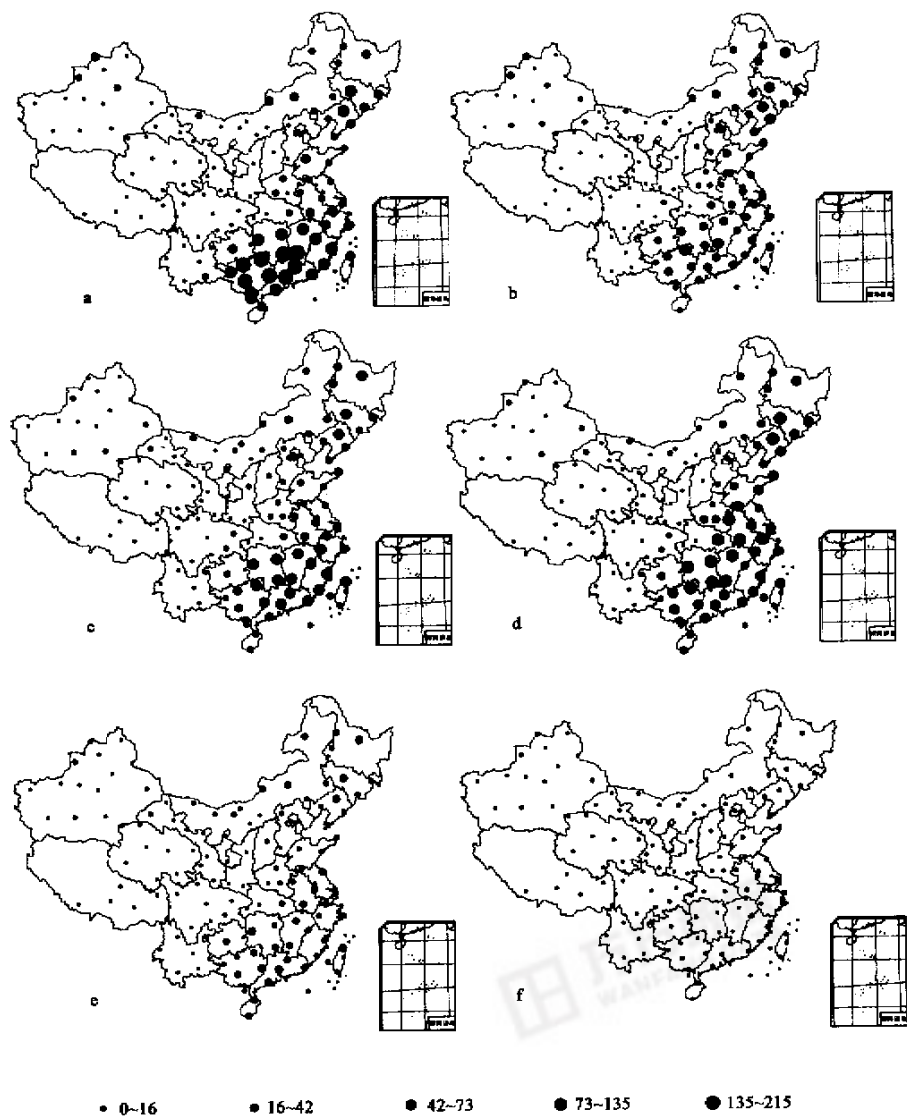


图1 稻飞虱北迁季节我国低空急流发生的频次分布(1986~1995)

Fig.1 Frequency distribution of LLJ in the northward migration seasons of rice plathoppers in 1986~1995
a,3月份 March. b, 5月份 May. c,6月份 June .d,7月份 July. e, 8月份 August. f,9月份 September

2.3 LLJ 发生区域与稻飞虱迁飞的关系

我国常年3月底至4月上旬只在南方稻区的西南部,如云南南部、广西南部和广东西南部出现褐飞虱的迁入峰次,而此时的LLJ发生区域的北界已达30°N;直到6月中旬,迁入和主降地区出现较大幅度的北跳,呈现由南向北的扇形方位扩展,此时30°N始见成虫迁入,迁入北界才与LLJ发生的区域相吻合。显然,这种现象与稻飞虱迁飞行为有关。从表5可以看出,3~4月稻飞虱迁飞高度上的平均气温达到其飞行低温

阈值 16.5°C 的北界位于 22°N 附近,正是早春的气温限制了北迁种群的分布;LLJ 以下的高度虽气温较高,但风速偏低,无法将北迁种群送得更远。从 3~5 月份 LLJ 的温度分布可知, 16.5°C 等温线与相应时期褐飞虱的常年始见期北界极为吻合(图 2)。6 月以后,温度已非限制因子,LLJ 发生的范围成为决定稻飞虱降落分布的关键因子。7 月中旬东部地区的始见期北界推进到 $36\sim 37^{\circ}\text{N}$ 的山东半岛及更北地区,中部北界达西安,与此期 LLJ 发生范围大致吻合。

3 讨论

3.1 低空急流是大气边界层特有的现象,是自由大气的大尺度运动与边界层固有的热力学和动力学性质相互作用的结果。低空急流是一支高温、高湿的高速气流,因而成为远迁种群,尤其是对湿度要求比较高的稻飞虱迁飞种群最理想的空中通道^[23,24]。邓望喜的空捕结果表明,空中飞虱种群的绝大部分个体在 $1500\sim 2000\text{m}$ 高度集群飞行^[25],这正是本文所述的大尺度低空急流所在的高度。本文对低空急流的气候学分析表明,在平常年景,稻飞虱少量强迁飞型个体可通过二次迁飞到达其发生区较北的地方如东北稻区,构成当地的零星虫源^[5];只有在出现贯通南北、跨度达 9 个纬距以上且与迁出区(区)相吻合的 LLJ 时,才可能将飞虱的大发生种群载至北方稻区。因此,可将常规气象资料中低空急流发生的范围、走向及其降水分布等作为预警参数,再结合虫情资料预测稻飞虱迁入区的分布。

3.2 LLJ 的发生区域分布于百色、锦州、嫩江一线的东侧,这与我国的山地走向有关:东南信风西进大陆后受青藏高原阻挡而折向加速,太行山、燕山、大兴安岭则起了导向作用。特别是在东北三面环山、平原中开的马蹄型山地平原交界带形成了典型的 pied piper 效应^①,松辽平原各月内急流出现的频率一直较高。世界上其它两支大尺度低空急流(北美、东非)也都发生在大洋西岸、高地东侧(落基山脉和东非高地)和反气旋环流的西侧,同样也是著名的迁飞昆虫的“传送带”^[23]。深入研究低空急流的时空特征及其界面过程与迁飞过程、降落区域和迁入量分布的关系,对完善灾变监测技术和预警系统、形成控灾减灾对策和措施有重要意义。

参考文献

- [1] Tang J Y(汤金仪),Hu B H(胡伯海),Wang J Q(王建强). Outbreak analysis of rice migratory pests in China and management strategies recommended. *Acta Ecologica Sinica*(in Chinese)(生态学报), 1996, 16(1): 167~133.
- [2] Ding J H(丁锦华),Zhang F M(张富满). *Delphacidae Fauna of Northeastern China*(in Chinese). Beijing:China Agricultural Sciencetech Press,1994. 129~132.
- [3] Li R D(李汝铎),Ding J H(丁锦华),Hu G W(胡国文等),et al. *The Planthopper and Its Population Management* (in Chinese). Shanghai:Fudan University Press,1996. 83~124.

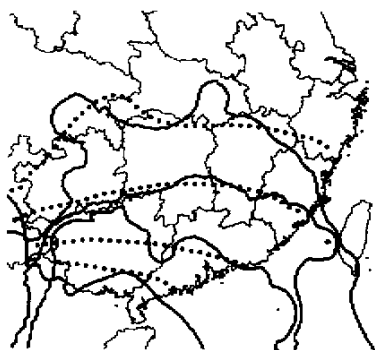


图 2 LLJ 的温度分布与褐飞虱迁入的关系

Fig. 2 Spatial distribution of the temperature inside

LLJ and the immigration of brown planthoppers

实线表示 LLJ 的 16.5°C 等温线,从南到北依次为 3 月下旬、4 月中旬、4 月下旬、5 月下旬。虚线表示常年褐飞虱始见期北界(根据文献 3 绘制),从南到北依次为 3 月 31 日以前、4 月 15 日以前、4 月 31 日以前、5 月 31 日以前。The solid lines mean the isothermal of 16.5°C which are during late March, mid April, late April and late May respectively from south to north. The dotted lines indicate the northern boundary of the first immigration of brown planthoppers, which are before the 31st of March, the 15th of April, the 31st of April and the 31st of May respectively from south to north

① 翟保平,陈瑞海. 东北山区自然地理特征的 Pied Piper 效应. 中国昆虫学会成立五十周年纪念暨学术讨论会论文摘要集,北京:中国昆虫学会,1994,328.

- [4] Zhai B P(翟保平). Re-emigration of brown planthopper; a review. *Plant Pest Forecasting*(in Chinese)(病虫害测报), 1992, **12** (3): 36~40.
- [5] Feng C H(封传红), Zhai B P(翟保平), Zhang X X(张孝羲). Re-emigration capacity of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens*. *Chinese J. Rice Sci.* (in Chinese)(中国水稻科学), 2001, **15**(2): 125~130.
- [6] Chen R C(陈若麓), Wu J R(吴家荣), Zhu S D(祝树德等) *et al.* Flight capacity of the brown phanthopper *Nilaparvata lugens* Stål. *Acta Entomologica Sinica*(in Chinese)(昆虫学报), 1984, **27**(2): 121~127.
- [7] Ohkubo N. Experimental studies on the flight of planthoppers by the tethered flight technique. I. Characteristics of flight of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål) and effects of some physical factors. *Jap. Appl. Zool.*, 1973, **17**: 10~18.
- [8] Baker PS, Cooter RJ, Chang PM, *et al.* The flight capabilities of laboratory and tropical field populations of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Hemiptera: Delphacidae). *Bull. Ent. Res.*, **70**: 589~600.
- [9] Padgham DE Flight fuels on the brown planthopper, *Nilaparvata lugens*. *J. Insect Physical.*, 1983, **29**(1): 95~99.
- [10] Rosenberg LJ, Magor JI. Flight duration of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Hemiptera: Delphacidae). *Ecol. Ent.*, 1983, **8**: 341~350.
- [11] Rosenberg LJ, Magor JI. Prediction wind borne displacements of the brown planthopper *Nilaparvata lugens* from synoptic weather data. I. Long-distance displacements in the northeast monsoon. *J. Anim. Ecol.*, 1987, **56**(1): 39~51.
- [12] Zhai B P(翟保平). Tracking angels: 30 years of radar entomology. *Acta Entomologica Sinica*(in Chinese)(昆虫学报), 1999, **42**(3): 315~326.
- [13] Wolf WW, Westbrook JK, Raulston J, *et al.* Recent airborne radar observations of migrant pests in the United States. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.*, 1990, **B328**: 619~630.
- [14] Tao S Y(陶诗言). *Heavy Rainfall in China*(in Chinese). Beijing: Science Press, 1980, 51~65.
- [15] Seino H, Shiotsuki Y, Oya S, *et al.* Prediction of long distance migration of rice planthoppers to northern Kyushu considering Low-level Jet Stream. *J. Agric. Met.*, 1987, **43**: 203~208.
- [16] Watanabe T, Sogawa K, Hirai Y, *et al.* Correlation between migratory flight of rice planthoppers and low-level jet stream in Kyushu, southwestern Japan. *Appl. Ent. Zool.*, 1991, **26**: 215~222.
- [17] Jiang S C(蒋尚城), Lin N(林楠). The heavy typhoon-rain with a very long land track. *Meteorological monthly* (气象), 1992, **18**(6): 3~8.
- [18] Zhang Y L(张玉玲). Heavy rainfall and formation of sub-synoptic systems. *Acta Meteorologica Sinica*(in Chinese)(气象学报), 1981, **39**: 258~266.
- [19] Lin M Z(林明智), Yang K M(杨克明). Synoptic and climatic analyses of the northern cyclones. *Meteorological monthly*(in Chinese)(气象), 1992, **18**(5): 20~26.
- [20] Cao G F(曹钢锋), Zhu G Z(朱官忠), Zhu J J(朱君鉴). The route categories and rainfall traits of the typhoon influencing northern China. *Meteorological monthly*(in Chinese)(气象), 1992, **18**(7): 12~16.
- [21] Zhai B P(翟保平). Excitation mechanism of rice planthopper plagues in northern China; a hypothesis. *J. Catastrophology*(in Chinese)(灾害学), 1995, **10**(3): 23~28.
- [22] Tang Jinyi, Wang Jianqiang Forecasting and control of rice insect pests and their recent population trends in China. In: *Proceedings of China-Japan Joint Workshop: Migration and Management of Insect Pests of Rice in Monsoon Asia*. Hangzhou: CNRRI, 1997, 1~11.
- [23] Zhai B P(翟保平), Zhang X X(张孝羲). Behaviour of migrating insects: adaptation and selection to atmospheric environments. *Acta Ecologica Sinica*(in Chinese)(生态学报), 1993, **13**(3): 356~363.
- [24] Zhai B P(翟保平), Zhang X X(张孝羲), Cheng X N(程遐年). Parameterizing the migratory behaviour of insects. 1 behavioural analysis. *Acta Ecologica Sinica*(in Chinese)(生态学报), 1997, **17**(1): 7~17.
- [25] Deng W X(邓望喜). A general survey on seasonal migrations of *Nilaparvata lugens* (Stål) and *Sogatella furcifera* (Horvath) (Homoptera: Delphacidae). *Acta Phytophylacila Sinica*(in Chinese)(植物保护学报), 1981, **8**(2): 73~81.